VERSUCHE

UEBER

MAGNETISCH WEICHE UND HARTE KÖRPER.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOCTORWÜRDE

VORGELEGT

DER

PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT ZU BASEL

VON

ALFONS KOHN.

LEIPZIG,

JOHANN AMBROSIUS BARTH (ARTHUR MEINER)

1896.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

https://archive.org/details/IA41548622_0009

Einleitung.

In seiner „Einführung in die Maxwell'sche Theorie der Electricität“ [1]) entwickelt Föppl zur Erklärung des remanenten resp. permanenten Magnetismus eine Theorie beruhend auf einer Unterscheidung von magnetisch weichen und magnetisch harten Körpern. Er versteht unter den ersteren, den magnetisch weichen, Körper, für die sich unter Voraussetzung electrischen Gleichgewichts die magnetische Kraft $\mathfrak{H}$ von einem Potential ableiten lässt oder $\operatorname{curl}\mathfrak{H} = 0$ ist, in denen also keine Wirbel von $\mathfrak{H}$ auftreten, unter magnetisch harten solche, bei denen das nicht der Fall ist. Auf Grund dieser Annahme erklärt er dann die Vorgänge in einem Magnetfeld folgendermaassen:

Es werde in einem von magnetischen Kraft- und Inductionslinien freien Raume ein electrischer Strom geschlossen, so gehen vom Leiter Inductionslinien aus, die durch neue, aus ihm quellende erweitert werden und sich im Raume ausbreiten, bis ein Beharrungszustand eintritt, den die Gleichungen

$$\mathfrak{B} = \mu\mathfrak{H}, \quad \operatorname{div}\mathfrak{B} = 0, \quad \operatorname{curl}\mathfrak{H} = 0$$

für die nur mit magnetisch weichen Körpern erfüllten Raumteile charakterisiren. Dabei bedeutet $\operatorname{div}\mathfrak{B} = 0$, dass weder eine Quelle, noch eine Versickerung des Inductionsflusses auftritt, also die Continuitätsgleichung; man kann diese Gleichung auch als das Differentialgesetz der longitudinalen, die dritte als das der transversalen Fortpflanzung der Inductionslinien ansehen.

Trifft das entstehende Feld auf absolut weiches Eisen, so kommt nur die Aenderung der Permeabilität μ in Betracht und modificirt die beiden ersten Gleichungen so, dass sie eine

1) p. 130 und 131, 204—212.

Verdichtung der Inductionslinien im Eisen ausdrücken. Beim Auftreffen auf magnetisch harte Körper werden aber die Inductionslinien in ihrer Ausbreitung aufgehalten und ein durch die folgenden stets verstärkter curl $\mathfrak{H}$ auf der Oberfläche oder im Innern des absolut harten Körpers gebildet. Einem solchen kommt am nächsten Stahl, der die Inductionslininien eines schwachen Feldes aufhalten kann, während die eines wachsenden Feldes in immer tiefere Schichten eindringen; jedenfalls erträgt der Stahl überall einen bestimmten Wert von curl $\mathfrak{H}$ und hindert oder beschränkt wenigstens die transversale Fortpflanzung des Feldes und zwar hängt der Grad dieser Beschränkung ab: von der Art des Kraftfeldes, der magnetischen Härte und den Querschnittsdimensionen des Stahls. Das bisher unbekannte Gesetz dieser Abhängigkeit lässt sich wohl durch Beobachtung der „Schirmwirkungen" finden: indem ein Rohr aus absolut weichem Eisen die Kraftlinien eines coaxialen Leiters ungehindert in den Raum treten lässt, ein Rohr aus magnetisch absolut hartem Material sie jedoch vollkommen zurückhält.

Bereits viel früher hat Stefan[1]) in Bezug auf das Verhalten eines Rohres aus weichem Eisen dieselbe Behauptung aufgestellt und den Vorgang dadurch erklärt, dass infolge der Anordnung der Elementarmagnete in geschlossenen Kreisen keine magnetischen Massen frei werden, welche die Fernwirkung des Leiters verändern könnten. Dabei erwähnte er auch, dass dies nach Versuchen von W. Siemens angenähert noch für einen von einem Eisenrohr umgebenen Kreisleiter gilt.

Um diese von Stefan und Föppl aufgestellten Behauptungen zusammenfassend zu prüfen, unternahm ich die im folgenden beschriebenen „Versuche über magnetisch weiche und harte Körper".[2])

---

1) Wien. Ber. 85. p. 622 und 624. 1882.

2) Nach Vollendung dieser Abhandlung wurde von Hrn. P. Beck unter dem Titel „Theorie des remanenten Magnetismus von Föppl" (Wied. Ann. 57. p. 464 u. flg. 1896) eine Arbeit veröffentlicht, die sich im allgemeinen mit demselben Gegenstand beschäftigt, wie die vorliegende. Das abweichende Resultat, zu dem Beck gelangt, ist wohl von vornherein bei einer Vergleichung der beiden Versuchsanordnungen er-

Versuchsanordnung.

Bei meinen Versuchen ging ich von folgenden Gesichtspunkten aus:

Als Kraftfeld für die Untersuchungen wurde natürlich das eines geradlinigen Leiters gewählt, nicht sowohl aus dem Grunde, dass Stefan und Föppl darauf hinwiesen, sondern schon deshalb, weil die Beschaffenheit gerade dieses Feldes von vornherein bekannt ist, indem die Kraftlinien desselben concentrische Kreise sind, deren Ebenen auf der Leiteraxe senkrecht stehen, und seine Intensität im umgekehrten Verhältniss zur Entfernung von der Strombahn steht (das Biot-Savart'sche Gesetz).

Damit ergab sich auch bald die Form der nöthigen Stahl- resp. Eisenmasse: nämlich die eines Rohres, dessen Axe mit der des Stromleiters zusammenfällt; diese Form wurde auch durch die Bedingung erfordert, dass kein Inductionsfluss von der zu untersuchenden Eisen- resp. Stahlmasse während des Versuches ausgehen und das ursprüngliche Feld beeinflussen durfte. Dabei war es unumgänglich nothwendig zur Vermeidung störender Streuung und Uebergangswiderstände Röhren ohne Naht zu verwenden.

Demnächst kam die Methode der Messung des Feldes in Betracht: die magnetometrische Methode war zu verwerfen wegen der Störungen durch den vom Magneten des Magnetometers ausgehenden Inductionsfluss. Es wurde also die allein einwandsfreie Methode gewählt, den durch das Magnetfeld in einer Spule (Abtastspule) inducirten Strom zu messen, wie es auch Föppl vorgeschlagen hat. Beim Erzeugen dieses Inductionsstromes durch Schliessen resp. Oeffnen des Primärstromes wäre jedoch, wenigstens bei übergeschobenem Versuchsrohre, nur die Stärke des entstehenden resp. verschwindenden Feldes gemessen worden und die zu findende Erscheinung zum mindesten sehr undeutlich hervorgetreten, wie es sich auch

---

klärt, in Kürze sei hier nur noch auf die Hauptsachen hingewiesen: Hr. Beck erzeugte den Inductionsstrom durch Umkehren des primären Stromes und wählte als Verhältniss der Spulen- zur Rohrlänge 1 : 1. Welchen Einfluss eine derartige Anordnung auf die Beobachtungsresultate hat, ist in den folgenden „Versuchsanordnung“ und „Fehlerquellen“ überschriebenen Abschnitten betont.

durch Versuche bestätigte. Es musste also durch Drehen der Spule um 180° und zwar um ihre zum Stromleiter parallele Axe der Inductionsstrom hervorgerufen werden. Dabei hätte, zumal nur sehr schwache Primärströme angewendet werden durften, der Erdmagnetismus einen um das Vielfache stärkeren Strom in der Spule inducirt und es musste daher zur Vermeidung dieses Uebelstandes die ganze Versuchsanordnung,

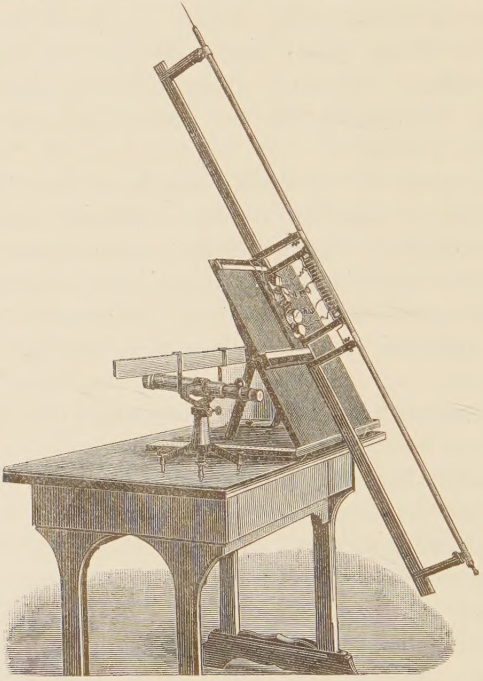

Fig. 1.

d. h. der Stromleiter, das Eisen- oder Stahlrohr und die Axe der Spule in die Inclinationsrichtung gebracht werden. Zur Messung des Inductionsstromes endlich kam, als empfindlichste, nur die ballistische Methode in Betracht.

Als magnetisch weiche Körper wählte ich: Eisenchloridlösung und Schmiedeeisen, als magnetisch harte: Tiegelstahl und Martinstahl zu den Versuchen.

Diese Erwägungen bedingten die endgültige Anordnung des Versuchsapparates, wie ihn die Abbildung (Fig. 1) zeigt. Auf einer Grundplatte (*a*), die man in ihrer Mitte um eine

in der Tischplatte senkrecht befestigte Axe drehen und mit einer Schraubenmutter auf dieser fixiren konnte, war eine zweite Platte (*b*) mit Scharniren befestigt und durch zwei Stützen schräg gestellt, die mit Messingblechstreifen und -Schrauben bis auf Bruchtheile eines Millimeters genau zu verschieben und dann auf der Grundplatte (*a*) festzuklemmen waren, so dass eine Verschiebung der Platte (*b*) nach den drei Coordinatenaxen ermöglicht war. Auf diesem Unterbau wurde das Gestell für die Versuchsröhren und den Stromleiter, sowie das für die Abtastspule montirt.

Der Rahmen der Spule bestand aus vier Stücken harten Holzes, deren Faserrichtungen abwechselnd auf einander senkrecht standen, um ein Werfen oder Reissen des Kernes zu verhüten, und war durch zwei Wände abgeschlossen. Die Dimensionen des an den Enden mit einem Radius von 10 mm abgerundeten Rahmens waren:

Länge	200,7 mm.	Breite ohne Wände	20,0 mm.
Höhe	20,1 „	„ mit Wänden	24,0 „
Umfang	427,2 „		

Darauf wurden zwei Wickelungen von je vier Lagen mit durchschnittlich 59 resp. 55 Windungen gebracht, die innere von Draht mit 0,25 mm Querschnitt (des blanken Drahtes) hatte 43,4 Ω Widerstand, die äussere von Draht mit 0,18 mm Querschnitt (des blanken Drahtes) hatte 67,3 Ω Widerstand, also betrug der Widerstand der ganzen Abtastspule, da beide Wickelungen hintereinandergeschaltet wurden, 110,7 Ω. Jede Lage des mit Seide umsponnenen Drahtes ward noch zur sichrern Isolation mit Schellack gestrichen. Die vier Enden der beiden Wickelungen waren auf vier an der einen Wand des Rahmens befestigten Messingplättchen mit Drahtlocken verlöthet, die zu Klemmschrauben auf dem Gestell der Spule führten. Beide Enden des Rahmens trugen Messingbügel, in deren einem eine Kurbel, im andern ein rechtwinklig gebogener, starker Messingdraht genau centrisch eingelassen war, die in einer zur Wickelungsebene senkrechten Ebene lagen und zum Umlegen resp. zum Anschlag dienten. Das Gestell der Spule bestand aus einem an den Schmalseiten abgeschrägten Brette, auf dem die eben erwähnten vier Klemmschrauben mit den Wickelungsenden sassen und in das zwei Träger einge-

zapft waren; am oberen Ende der letzteren befanden sich die durch Vor- und Zurückdrehen regulirbaren Anschläge (Schrauben) und je ein Einschnitt, in dem die Spule resp. die Kurbel und der gebogene Draht ruhten, an ihrem Fusse wurden genau senkrecht unter der Spulenaxe je eine Marke eingelassen. Das Brett sammt Trägern liess sich auf einer auf dem Unterbau (Platte *b*) befestigten Platte in zwei Führungsleisten verschieben, die der Abschrägung des Brettes genau entsprechend abgehobelt waren und Millimeterscalen trugen; auf letzteren liess sich die Verschiebung der Spule durch die an den Trägern befestigten Marken ablesen. Mit Hülfe der Regulirung des Anschlages konnte man es erreichen, dass beim Umlegen der Spule in dem einen und anderen Sinne, ein constantes Feld natürlich vorausgesetzt, ein gleich starker Inductionsstrom hervorgerufen wurde. Die Form der Spule selbst sollte die Bedingung erfüllen, in dem gegebenen Falle eine möglichst grosse Zahl Kraftlinien beim Umlegen zu schneiden. Eine Vergrösserung der Länge hätte eine weitere bedeutende Verlängerung der Versuchsröhren erfordert zur Vermeidung der störenden Randwirkungen, auf die später noch ausführlicher eingegangen wird. Die Querdimensionen der Spule endlich wurden so gewählt, dass alle Theile der Windungen in den stärksten Theil des Feldes, d. i. möglichst nahe an den Leiter oder das Versuchsrohr gebracht werden konnten, dabei aber die Fläche der Spule nicht zu sehr verkleinert wurde.

Der Inductionsstrom wurde von den Klemmen am Gestell der Spule zu einem astatischen Galvanometer von du Bois und Rubens geleitet, dessen Spiegel von der Scala am Fernrohr 1500 Scalentheile entfernt war; es wurde das leichteste der drei vorhandenen Magnetsysteme benutzt und das Galvanometer auf 14″ Schwingungsdauer (einer doppelten Schwingung) astasirt; der Widerstand der vier hintereinander geschalteten Galvanometerrollen betrug $4 . 20 = 80\ \Omega$. Alle blanken Verbindungs- und Löthstellen in diesem secundären Stromkreise mussten zur Vermeidung von Thermoströmen sorgfältig mit Filz umhüllt werden.

Unmittelbar neben der Platte des Spulengestelles wurde an dieser und auf dem Unterbau (Platte *b*) das Stativ zum Tragen des Stromleiters und der Versuchsröhren befestigt. Es

bestand aus einer Holzleiste mit rechteckigem Querschnitt und von 190 cm Länge, auf der vier mit Messingschneiden versehene Träger standen: zwei an den Enden und zwei je 15 cm von der Mitte der Leiste entfernt. Die Messingschneiden, auf welche dann der Stromleiter und die Versuchsröhren zu liegen kamen, wurden miteinander genau einvisirt und so hoch eingestellt, dass die Axe eines auf sie gelegten Rohres von 20 mm äusserem Durchmesser mit der Axe der Spule in eine zur Platte *b* parallele Ebene fiel. Der unterste Träger wurde noch mit einem Messinghaken versehen, der ein Herabgleiten der Röhren verhinderte.

Der gerade Stromleiter bestand aus einem 2,5 m langen, durch Drillen und Ziehen gehärteten und genau gerade gestreckten Kupferdraht von 5 mm Durchmesser. Von seinen Enden aus setzte sich die Stromleitung geradlinig bis zur Decke bez. zum Boden des Versuchsraumes fort, ging an diesen weiter bis zu der ca. 6 m entfernten Wand, an der sie sich durch die Stromquelle, die Messinstrumente und den variablen Widerstand schloss. Durch diese Anordnung wurde es erreicht, dass der übrige Theil der Leitung auf das von dem geradlinigen Kupferdraht erzeugte Feld ohne merkbaren Einfluss blieb, was sich beim Hin- und Herbewegen der anderen Leitungstheile nachweisen liess.

Die Stromquelle bildete ein Accumulator der Actiengesellschaft Hagen, der sich durch constante Stromstärke und Klemmspannung während des ganzen Versuches bewährte. Die Strommessung erfolgte auf dreifachem Wege:

1. durch ein Milliampèremeter nach Prof. Braun;
2. durch ein Weston-Normal-Milliampèremeter;
3. durch Messung der Klemmspannung mittels eines Weston-Normal-Voltmeters bei bekanntem, constantem Leitungswiderstand.

Die Angaben der beiden erstgenannten Instrumente entsprachen sich stets.

Der Kupferleiter wurde nun in ein Glasrohr von 20 mm äusserem Durchmesser gebracht und durch sechs (2 cm lange) abgedrehte und eingepasste Holzcylinder in der Axe desselben festgehalten, um dem Leiter die nöthige Stabilität gegen Durchbiegen zu geben, nachdem durch Versuche bewiesen war, dass

das Glasrohr auf die Vertheilung des Kraftfeldes keinen Einfluss ausübt. Dieser Kupferleiter, der zur Messung des unbeeinflussten Feldes diente, wird weiterhin kurz der freie Leiter genannt. Ein zweiter mit dem beschriebenen in Dimensionen und Widerstand abgeglichener Kupferdraht wurde ebenfalls mittels sechs (2 cm langen) Holzcylindern nacheinander in die Axe der einzelnen Versuchsröhren eingeführt.

Als solche wurden zu den Versuchen nach dem Mannesmann'schen Verfahren nahtlos, kalt gezogene Röhren angewendet und zwar:

2	aus Schmiedeeisen	von 13 bez. 16 mm äusserem Durchmesser
3	aus Tiegelstahl (dem mechanisch härteren Stahl)	„ 13, 14,5, 16 mm „ „
3	„ Martinstahl (dem mechanisch weicheren Stahl)	

Sämmtliche Röhren hatten 10 mm inneren Durchmesser und 2 m Länge, sie wurden durch Umwickeln mit Papierstreifen an den Stellen, wo sie auf den Messingschneiden auflagen, auf einen äusseren Durchmesser von 20 mm gebracht. Diese Röhren wurden von der Compagnie française des méteaux, Paris, durch deren Agenten, Hrn. Kuno Mair, Metallwaarenhandlung in München, bezogen.

Den Dimensionen dieser Röhren entsprechend wurde für die Versuche mit Eisenchlorid ($Fe_2Cl_6 + 12H_2O$) ein 2 m langes Glasrohr von 10 mm äusserem Durchmesser in ein solches von 16 mm innerem und 20 mm äusserem Durchmesser und von derselben Länge mittels Siegellacktropfen coaxial eingesetzt und die Enden auch mit Siegellack abgedichtet. Das Ein- und Abfüllen der Eisenchloridlösung (spec. Gew. 1,586) geschah durch Ansatzröhrchen, die in das äussere Glasrohr nahe den Enden eingeschmolzen waren.

Beobachtungsmethode.

Vor Beginn der Messungen wurden die Schmiedeeisenröhren durch mehrstündiges Glühen und allmähliches Abkühlen in einem Aschekasten absolut weich gemacht, die Stahlröhren senkrecht zum magnetischen Meridian gebracht und durch Hämmern mit einem Holzhammer auf die Enden in der Axenrichtung von jedem remanenten Magnetismus befreit. Nachdem mit den Stahlröhren die im Folgenden beschriebenen Beobachtungen einmal durchgeführt waren, wurden die Röhren, die

als „hart“ von der Fabrik geliefert worden waren, jedoch nur die beiden stärksten und schwächsten (von 3 bez. 1,5 mm Wandstärke), noch einem Härteprocess unterworfen, der folgendermaassen verlief: In ein gusseisernes Rohr (mit beiläufig 150 mm innerem Durchmesser), dessen Wand durch zahlreiche Löcher durchbrochen war, wurden sechs Scheiben aus starkem Eisenblech senkrecht zur Axe des Rohres und gleichmässig über seine Länge vertheilt. In jeder Scheibe befand sich ein Loch von 16 mm und eins von 13 mm Durchmesser, in die die beiden Tiegelstahl-, dann die beiden Martinstahlröhren eingeführt wurden. Das Gusseisenrohr sammt den beiden Stahlröhren wurde dann in einem Flammofen bis zu der für das Härten des betreffenden Materials günstigsten Gluth erhitzt und dann unmittelbar in fliessendes Wasser gebracht, sodass das Wasser durch das Rohr strömte. Durch diese Anordnung wurde eine gleichmässige Härte erzielt und ein Verbiegen und Reissen der Röhren vermieden. Das Härten wurde durch die Maffei'schen Eisenwerke in Hirschau bei München ausgeführt. Darauf wurden die Stahlröhren wie im anfänglichen Zustande entmagnetisirt und zu Beobachtungen verwendet.

Mit jedem Rohre wurden drei Versuchsreihen angestellt, und zwar bei Entfernungen (a in den folgenden Tabellen) von 25, 33 und 43 mm der Spulenaxe von der Leiteraxe; innerhalb jeder Reihe wurde andererseits die Stromstärke des Leiterstromes (J in den Tabellen) geändert und 0,025 A., 0,05 A., 0,1 A., 0,2 A., 0,5 A., 1,0 A. angewendet, letztere Stromstärke jedoch nur bei den gehärteten Stahlröhren, da die nicht gehärteten, wohl durch circulare Magnetisirung zu stark beeinflusst wurden.

Der Verlauf einer solchen Versuchsreihe, z. B. der ersten, war folgender: Durch Regulirung der Grundplatten a und b wurde die Axe der Spule in die Inclinationsrichtung gebracht, sodass durch Umlegen der Spule, deren Windungsebene alsdann mit dem magnetischen Meridian einen Winkel von 90° bildete, kein Inductionsstrom erzeugt wurde, dann durch den freien Leiter ein Strom von 0,025 A. geschickt und durch sechsmaliges Umlegen der Spule je drei Messungen des Feldes nach den beiden Scalenseiten vorgenommen, deren Mittelwerth dann gültig war. Nach Unterbrechung des Stromes wurde

wieder durch sechsmaliges Umlegen der Spule geprüft, ob das Erdfeld während der letzten Messungen constant geblieben war, und dann das Feld eines Stromes von 0,05 A gemessen etc. Es ergab sich, dass das Erdfeld während einer Versuchsreihe constant blieb ausser an Tagen mit erdmagnetischen Störungen und atmosphärischen Gewittern, an denen schon die heftigen Galvanometerschwankungen das Arbeiten unmöglich machten, denn die Versuche wurden stets nur bei absoluter Ruhelage der Galvanometernadel auf Null vorgenommen. Dann wurde der freie Leiter durch den gleichwerthigen, mit dem Versuchsrohr umgebenen ersetzt und vor und nach jeder den ersten analog ausgeführten Feldmessung ein Versuch nach Unterbrechung des Leiterstromes wieder durch sechsmaliges Umlegen der Spule angestellt, um zu prüfen, ob der Einfluss des Versuchsrohres auf die in der Inclinationsrichtung stehende Spule noch gleich Null ist, bez. ob sich während der Messung der Einfluss des Rohres oder das Erdfeld geändert hat. Darauf wurde noch der erste Theil der Versuchsreihe, die Feldmessung am freien Leiter wiederholt, um durch Stromschwankungen etwa verursachte Fehler zu corrigiren, jedoch erwies sich, wie bereits angedeutet, die Stromquelle als constant. Mit der Verschiebung in die zweite Stellung (33 mm Abstand der Spulen- von der Leiteraxe) begann die zweite Versuchsreihe etc.

Die so gewonnenen Beobachtungsresultate wurden dann in der Weise verwerthet, dass der Werth für die Feldstärke des mit dem Versuchsrohr umgebenen Leiters von dem entsprechenden für die Feldstärke des freien Leiters subtrahirt und das Verhältniss dieser Differenz zum Minuendus, d. i. zum Werth der Feldstärke des freien Leiters in Procenten berechnet wurde.

Demgemäss sind in den fünf Horizontalreihen der Tabellen I—XIII der Reihe nach die Werthe enthalten, in der

1. die Werthe für das Feld des freien Leiters (F. d. fr. L.),
2. die Werthe für das Feld des mit dem Versuchsrohr umgebenen Leiters, des Leiters im Rohr (F. d. L. i. R.),
3. die Differenz beider Werthe (Diff.),
4. das Verhältniss in Procenten der Differenz zum Werth für das Feld des freien Leiters, d. i. die procentuale Verminderung des Feldes (Proc. Verm.),

5. der Mittelwerth der drei jeder Stromstärke zugehörigen Procentzahlen (Mittel).

Dabei ist noch zu bemerken, dass die Werthe aus den drei Versuchsreihen für die gleichen Stromstärken in den Verticalreihen der Tabellen I—XIII nebeneinander gestellt sind, ferner, dass die Zahlen in den Tabellen, soweit es keine Verhältnisszahlen sind, Scalentheile bedeuten, die hier als Maasseinheit genügen, weil es sich um relative und nicht um absolute Messungen handelt; andererseits wurde von einer Correction auf die Tangente abgesehen, weil diese Correction wegen der kleinen Ablenkungswinkel bei den einzelnen Werthen an und für sich schon vernachlässigt werden konnte, und um so mehr, als für die Endresultate nur die Differenz zweier wenig verschiedener Werthe in Betracht kam.

Schliesslich will ich noch zur weiteren Erläuterung der Verwerthung der Messungsresultate und der Zusammenstellung der Tabellen I—XIII als Beispiel die sämmtlichen Messungswerthe und die Berechnung der in der ersten Verticalreihe der Tabelle IV enthaltenen Grössen anführen:

Einfluss des Erdfeldes			0,0	0,0	0,0				
(vor und nach den folgenden Messungen)			0,0	0,0	0,0				
						im Mittel			0,00
Feld des freien Leiters:	1.	4,6	4,7	4,6	3.	4,5	4,6	4,5	
(1. vor, 3. nach der		4,6	4,6	4,7		4,6	4,6	4,6	
Messung 2.)						im Mittel			4,60
Feld des vom nicht gehärteten Tiegelstahlrohr mit 3 mm Wandstärke umgebenen Leiters:	2.	3,7	3,8	3,7					
		3,6	3,7	3,7					
						im Mittel			3,70
Differenz der Werthe für die Felder									0,90
Das Verhältniss von 0,90 zu 4,60 in Procenten ist						$\frac{0{,}90 \cdot 100}{4{,}60} = 19{,}55$			

Fehlerquellen.

Dadurch, dass einerseits sämmtliche Versuchsröhren auf den gleichen äusseren Durchmesser von 20 mm gebracht wurden, wenigstens an den Auflagestellen, andererseits der freie Leiter sich in einem Glasrohr des gleichen äusseren Durchmessers befand, war nach einmaliger Einstellung der Auflageschneiden die Gewissheit gegeben, dass sich der Leiter

stets in derselben Lage befinde, d. h. in constanter Entfernung von der Spule und mit deren Axe in einer zur Platte *b* parallelen Ebene. Welchen Einfluss übrigens eine Veränderung des Abstandes der Spulen- von der Leiteraxe ausübt, wurde durch absichtliche Verschiebung der Spule von 25 mm auf 26 mm gefunden, indem der Ausschlag dadurch z. B. bei 0,025 Amp. um 0,2 Scalentheile, bei 0,05 Amp. um 0,3 Scalentheile abnahm, d. h. etwas mehr als ein Fünftel des Werthes der entsprechenden Verminderung des Feldes durch das dickere, nicht gehärtete Tiegelstahlrohr. In der That wäre eine Aenderung der Entfernung nur um einen kleinen Bruchtheil eines Millimeters möglich gewesen.

Verschiebungen der Röhren durch Drehen um ihre Axe übten — eine vollständige Entmagnetisirung vorausgesetzt — auf die Vertheilung des Kraftfeldes keinen nachweisbaren Einfluss aus, solche Drehungen wurden aber überhaupt vermieden durch Einstellung auf Marken an den Röhren und an dem Messinghaken, der an dem untersten Träger angebracht war, um die Röhren am Herabgleiten zu verhindern.

Die Beobachtungsmethode schützte an und für sich schon dadurch vor Einstellungsfehlern, dass, wie oben beschrieben, die Feldmessungen am freien bez. am vom Versuchsrohr umgebenen Leiter reihenweise vorgenommen wurden, weil dabei die Zahl der Auswechselungen und Einstellungen der Röhren auf ein Minimum reducirt, übrigens gleichzeitig auch die Gefahr einer longitudinalen Magnetisirung der Röhren durch Erschütterungen hintangehalten wurde.

Eine andere Fehlerquelle: die Störungen durch die Randwirkungen der Röhren, wurde durch die Anwendung von Röhren mit 2 m Länge d. i. ungefähr das zehnfache der Spulenlänge, vermieden. Diese Röhren übten, einmal entmagnetisirt, keinen Einfluss auf die Spule aus, während solche von 30 und 40 cm Länge, wie sie anfangs für die Versuche allein zu Gebote standen, trotz sorgfältiger Entmagnetisirung in der Spule einen bis zum achtfachen stärkeren Inductionsstrom hervorriefen, als das Kraftfeld und diesen Einfluss bei Verschiebung längs des Leiters veränderten.

Die Fehler der Werthe für die Feldstärke, d. h. die grösste Abweichung vom Mittelwerth beträgt $\pm$ 10 Proc. des ent-

sprechenden Werthes der Verminderung durch das nicht gehärtete Tiegelstahlrohr von 3 mm Wandstärke.

Beobachtungsresultate.

Aus Tabelle I und II ist folgendes ersichtlich:

„Ein Rohr aus weichem Eisen übt auf das Feld eines coaxialen Leiters keinen Einfluss aus.“

Tabelle III besagt:

„Ein Rohr aus Eisenchloridlösung, die man als absolut weiches Eisen betrachten kann, übt auf das Feld eines coaxialen Leiters keinen Einfluss aus.“

Die Tabellen I—III, die nur innerhalb der Fehlergrenzen liegende Differenzen und als Mittel der procentualen Verminderung nur wenig von 0 verschiedene Werthe ergeben, zeigen übereinstimmend folgendes:

„Weiches Eisen ist ein magnetisch weicher Körper.“ Durch dieses gleichlautende Resultat der Versuche mit dem Eisenchloridrohr von 3 mm Wandstärke und den beiden Schmiedeeisenröhren erübrigten sich weitere Versuche mit dünnwandigeren Eisenchloridröhren.

Tabelle IV besagt:

„Ein Stahlrohr vermindert das Feld eines coaxialen Leiters und zwar in desto höherem Grade, je schwächer der im Leiter fliessende Strom ist. Stahl ist also ein magnetisch harter Körper.“

Die Tabellen IV—VI sagen aus:

„Je grösser die Wandstärke des Stahlrohres, desto grösser ist die procentuale Verminderung des Feldes.“

Die Tabellen VII—IX ergeben:

„1. eine Bestätigung der aus Tabelle IV—VI gewonnenen Sätze und sagen aus in Bezug auf die Werthe in Tabelle IV—VI:

„2. Der mechanisch härtere Stahl bewirkt eine grössere procentuale Verminderung des Feldes als der weichere, er besitzt also die grössere magnetische Härte.“

Tabelle IV, VI, VII, IX und X—XIII ergeben:

„Nach dem Härteprocess ist die procentuale Verminderung des Feldes grösser geworden, d. h. mit der mechanischen Härte eines Körpers wächst auch seine magnetische Härte.“

Tabelle I.

Schmiedeeisenrohr von 3 mm Wandstärke.

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,64	3,45	2,73	9,06	6,76	5,325	22,06	16,665	12,74	42,71	32,805	25,38	102,44	78,625	60,485
F. d. L. i. R.	4,675	3,49	2,70	9,02	6,745	5,36	22,005	16,70	12,72	42,785	32,85	25,435	102,45	78,565	60,56
Diff.	−0,035	−0,04	+0,03	+0,04	+0,015	−0,035	+0,055	−0,035	+0,02	−0,075	−0,045	−0,055	−0,01	+0,06	−0,075
Proc. Verm.															
Mittel															

Tabelle II.

Schmiedeeisenrohr von 1,5 mm Wandstärke.

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,59	3,55	2,68	9,07	6,79	5,31	22,17	16,65	12,69	42,82	32,78	25,43	102,205	78,51	60,64
F. d. L. i. R.	4,62	3,53	2,72	9,105	6,765	5,32	22,13	16,65	12,725	42,885	32,745	25,39	102,28	78,595	60,585
Diff.	−0,03	+0,02	−0.04	−0,035	+0,025	−0,01	+0,04	0,00	−0,035	−0,065	+0,035	+0,04	−0,075	−0,085	+0,055
Proc. Verm.															
Mittel															

Tabelle III.

Eisenchloridrohr von 3 mm Wandstärke.

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,58	3,56	2,705	9,12	6,75	5,295	22,01	16,67	12,66	42,81	32,86	25,38	102,445	78,52	60,565
F. d. L. i. R.	4,56	3,54	2,735	9,09	6,79	5,35	22,055	16,625	12,68	42,76	32,84	25,435	102,39	78,56	60,63
Diff.	+0,02	+0,02	−0.03	+0,03	−0,04	−0,055	−0,045	+0,045	−0,02	+0,05	+0,02	−0,055	+0,055	−0,04	−0,065
Proc. Verm.															
Mittel															

Tabelle IV.

Tiegelstahlrohr von 3 mm Wandstärke (Rohr 1 α).

(Nicht gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,60	3,58	2,76	9,085	6,81	5,33	22,14	16,62	12,77	42,71	32,87	25,52	102,40	78,55	60,54
F. d. L. i. R.	3,70	2,865	2,25	7,835	5,83	4,57	20,035	15,99	11,595	40,11	30,815	23,96	98,815	75,68	58,42
Diff.	0,90	0,715	0,51	1,25	0,98	0,76	2,105	1.63	1,175	2,60	2,055	1,56	3,585	2,87	2,12
Proc. Verm.	19,55	20,0	18,5	13,75	14,4	14,3	9,5	9,8	9,2	6,1	6,25	6,1	3,5	3,65	3,5
Mittel		19,35			14,15			9,50			6,15			3,55	

Tabelle V.

Tiegelstahlrohr von 2,25 mm Wandstärke (Rohr 1 β).

(Nicht gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,66	3,45	2,66	9,155	6,76	5,30	22,095	16,57	12,72	42,69	32,815	25,46	102,11	78,52	60,545
F. d. L. i. R.	3,955	2,935	2,265	8,235	6,07	4,785	20,46	15,30	11,79	40,685	31,255	24,20	99,25	76,28	59,915
Diff.	0,705	0,515	0,395	0,92	0,69	0,515	1,635	1,27	0,93	2,005	1,56	1,26	2,86	2,24	1,63
Proc. Verm.	15,15	14,9	14,85	10,05	10,2	9,7	7,4	7,65	7,3	4,7	4,75	4,95	2,8	2,85	2,7
Mittel		14,97			9,98			7,45			4,80			2,78	

Tabelle VI.

Tiegelstahlrohr von 1,5 mm Wandstärke (Rohr 1 γ).

(Nicht gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,63	3,52	2,69	9,11	6,75	5,34	22,18	16,60	12,73	42,74	32,79	25,48	102,29	78,47	60,63
F. d. L. i. R.	4,125	3,12	2,39	8,41	6.19	4,905	20,98	15,64	12,015	41,245	31,545	24,575	100,295	76.86	59,385
Diff.	0,505	0,40	0,30	0,70	0,56	0,435	1,20	0,96	0,715	1,495	1,245	0,905	1,995	1,61	1,245
Proc. Verm.	10,9	11,4	11,15	7,7	8,3	8,15	5.4	5,8	5,6	3,5	3,8	3,55	1,95	2,05	2,05
Mittel		11,15			8,05			5,60			3,62			2,02	

Tabelle VII.

Martinstahlrohr von 3 mm Wandstärke (Rohr 2 α).

(Nicht gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,56	3,46	2,66	9,13	6,785	5,265	22,02	16,69	12,70	42,87	32.905	25,32	102,23	78,515	60,68
F. d. L. i. R.	3,815	2,915	2,215	8,175	6,065	4,73	20,57	15,62	11,84	41,155	31,65	24,27	99,88	76,67	59,315
Diff.	0,745	0,545	0,445	0,955	0,72	0,535	1,45	1,07	0,86	1,715	1,255	1,05	2,35	1,845	1,365
Proc. Verm.	16,3	15,75	16,7	10,45	10,6	10,2	6,6	6,4	6,8	4,0	3,8	4,15	2,3	2,35	2,25
Mittel		16,25			10,42			6,60			3,98			2,30	

Tabelle VIII.

Martinstahlrohr von 2,25 mm Wandstärke (Rohr 2 β).

(Nicht gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,58	3,53	2,725	9,05	6,805	5,39	22,11	16,695	12,67	42,905	32,83	25,40	102,415	78,55	60,495
F. d. L. i. R.	3,995	3,08	2,365	8,31	6,25	4,93	20,86	15,82	12,03	41,555	31,845	24,525	100,52	77,06	59,375
Diff.	0,585	0,45	0,36	0,74	0,555	0,46	1,25	0,875	0,64	1,35	0,985	0,875	1,895	1,49	1,12
Proc. Verm.	12,8	12,75	13,2	8,2	8,15	8,55	5,65	5,25	5,05	3,15	3,0	3,45	1,85	1,9	1,85
Mittel		12,92			8,30			5,32			3,20			1,87	

Tabelle IX.

Martinstahlrohr von 1,5 mm Wandstärke (Rohr 2 γ).

(Nicht gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.			0,2 A.			0,5 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,61	3,50	2,71	9,15	6,84	5,28	22,145	16,62	12,655	42,92	32,71	25,34	102,18	78,49	60,66
F. d. L. i. R.	4,16	3,20	2,46	8,59	6,455	4,96	21,29	15,98	12,20	41,91	31,96	24,745	100,90	77,47	59,84
Diff.	0,45	0,30	0,25	0,56	0,415	0,32	0,855	0,64	0,455	1,01	0,75	0,595	1,28	1,02	0,82
Proc. Verm.	9,75	8,6	9,25	6,1	6,05	6,05	3,85	3,85	3,6	2,35	2,3	2,35	1,25	1,3	1,35
Mittel		9,18			6,07			3,77			2,33			1,30	

Tabelle X.

Tiegelstahlrohr von 3 mm Wandstärke (Rohr 1a).

(Gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,585	3,48	2,72	9,095	6,71	5,33	22,16	16,70	12,64
F. d. L. i. R.	3,425	2,635	1,99	7,405	5,39	4,295	18,97	14,555	10,85
Diff.	1,16	0,845	0,73	1,69	1,32	1,035	3,19	2,145	1,79
Proc. Verm.	25,3	24,3	26,85	18,6	19,65	19,4	14,4	12,85	14,15
Mittel		25,48			19,22			13,80	

J	0,2 A.			0,5 A.			1,0 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	42,83	32,82	25,53	102,46	78,54	60,42	203,94	152,765	119,26
F. d. L. i. R.	38,655	29,90	23,18	95,85	73,79	56,52	193,74	144,055	112,52
Diff.	4,175	2,92	2,35	6,61	4,75	3,90	10,20	8,71	6,74
Proc. Verm.	9,75	8,9	9,2	6,6	6,05	6,45	5,0	5,7	5,65
Mittel		9,28			6,37			5,45	

Tabelle XI.

Tiegelstahlrohr von 1,5 mm Wandstärke (Rohr 1c).

(Gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,62	3,47	2,67	9,125	6,715	5,36	22,12	16,61	12,75
F. d. L. i. R.	3,84	2,89	2,17	7,89	5,86	4,63	19,895	14,965	11,59
Diff.	0,78	0,58	0,50	1,235	0,855	0,73	2,225	1,645	1,16
Proc. Verm.	16,9	16,7	18,75	13,55	12,75	13,6	10,05	9,9	9,1
Mittel		17,45			13,30			9,68	

J	0,2 A.			0,5 A.			1,0 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	42,89	32,93	25,445	102,17	78,50	60,525	201,235	154,67	121,11
F. d. L. i. R.	40,165	30,59	23,585	96,705	74,22	57,56	192,58	147,09	115,48
Diff.	2,725	2,34	1,86	5,465	4,28	2,965	8,655	7,58	5,63
Proc. Verm.	6,35	7,1	7,3	5,35	5,45	4,9	4,3	4,9	4,65
Mittel		6,92			5,23			4,62	

Tabelle XII.

Martinstahlrohr von 3 mm Wandstärke (Rohr 2a).

(Gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,56	3,525	2,68	9,06	6,775	5,25	22,045	16,59	12,715
F. d. L. i. R.	3,645	2,855	2,185	7,90	5,935	4,53	20,125	15,255	11,715
Diff.	0,915	0,67	0,495	1,16	0,84	0,72	1,92	1,335	1,00
Proc. Verm.	20,05	19,0	18,5	12,8	12,4	13,7	8,7	8,05	7,85
Mittel		19,18			12,97			8,20	

J	0,2 A.			0,5 A.			1,0 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	42,95	32,755	25,39	102,32	78,48	60,55	200,88	154,91	118,85
F. d. L. i. R.	41,015	30,825	24,185	98,94	75,935	58,855	196,16	150,73	115,88
Diff.	1,935	1,93	1,205	3,38	2,545	1,695	4,72	4,18	2,97
Proc. Verm.	4,5	5,9	4,75	3,3	3,25	2,8	2,35	2,7	2,5
Mittel		5,05			3,12			2,52	

Tabelle XIII.

Martinstahlrohr von 1,5 mm Wandstärke (Rohr 2c).

(Gehärtet.)

J	0,025 A.			0,05 A.			0,1 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	4,635	3,54	2,74	9,10	6,695	5,315	22,10	16,605	12,71
F. d. L. i. R.	4,12	3,155	2,41	8,42	6,165	4,925	20,93	15,74	12,155
Diff.	0,515	0,385	0,33	0,68	0,53	0,39	1,17	0,865	0,555
Proc. Verm.	11,1	10,85	12,05	7,55	7,9	7,35	5,3	5,2	4,35
Mittel		11,33			7,60			4,95	

J	0,2 A.			0,5 A.			1,0 A.		
a (mm)	25	33	43	25	33	43	25	33	43
F. d. fr. L.	42,70	32,72	25,35	102,36	78,63	60,655	204,21	153,685	119,60
F. d. L. i. R.	41,375	31,665	24,44	99,66	76,98	59,35	201,015	151,225	116,97
Diff.	1,325	1,055	0,91	2,70	1,65	1,305	3,195	2,46	2,63
Proc. Verm.	3,05	3,2	3,6	2,7	2,1	2,15	1,6	1,6	2,2
Mittel		3,28			2,32			1,80	

Der besseren Uebersicht halber sind dann noch die gewonnenen Endresultate (die abgerundeten Mittelwerthe der procentualen Verminderung) aus den Tabellen IV—XIII zusammengestellt in

Tabelle XIV.

J	0,025 A.	0,05 A.	0,1 A.	0,2 A.	0,5 A.	1,0 A.
Rohr 1α	19,35	14,15	9,5	6,15	3,55	
„ 1β	14,95	10,0	7,45	4,8	2,8	
„ 1γ	11,15	8,05	5,6	3,6	2,0	
„ 2α	16,25	10,4	6,6	4,0	2,3	
„ 2β	12,9	8,3	5,3	3,2	1,85	
„ 2γ	9,2	6,05	3,75	2,35	1,3	
„ $1a$	25,5	19,2	13,8	9,3	6,4	5,45
„ $1c$	17,45	13,3	9,7	6,9	5,25	4,6
„ $2a$	19,2	12,95	8,2	5,05	3,1	2,5
„ $2c$	11,35	7,6	4,95	3,3	2,3	1,8

Um die Abhängigkeit der procentualen Verminderung von der Stromstärke des primären Stromes anschaulicher zu machen,

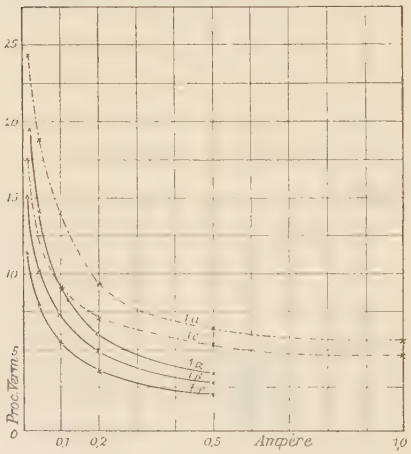

Fig. 2.

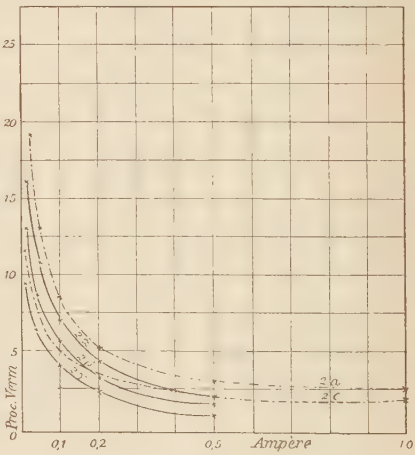

Fig. 3.

wurden die Werthe der ersteren, der Verminderung, als Functionen der Stromstärke des Leiterstromes graphisch dargestellt (vgl. Fig. 2 und 3).

Zum gleichen Zwecke wurden aus Tabelle XIV diejenigen Factoren berechnet, mit denen man jeden Werth der procentualen Verminderung — mit dem für 0,025 A. beginnend — multipliciren muss, um den entsprechenden Werth für eine

doppelt so grosse Stromstärke des primären Stromes zu erhalten, wobei 0,5 A. näherungsweise als das Doppelte von 0,2 A. betrachtet wurde.

Diese Factoren enthält

Tabelle XV.

Rohr	1α	0,73	0,67	0,645	0,575	
„	1β	0,67	0,745	0,645	0,585	
„	1γ	0,72	0,695	0,645	0,555	
„	2α	0,64	0,635	0,605	0,575	
„	2β	0,645	0,64	0,605	0,58	
„	2γ	0,655	0,625	0,62	0,555	
„	$1a$	0,755	0,72	0,675	0,69	0,85
„	$1c$	0,76	0,73	0,71	0,76	0,875
„	$2a$	0,675	0,635	0,615	0,615	0,805
„	$2c$	0,67	0.65	0,67	0,695	0,785

Die entsprechenden Factoren bei einer Verstärkung des primären Stromes auf das 20fache von 0,025 A. auf 0,5 A. finden sich in

Tabelle XVI.

R. 1α	$1a$	1β	1γ	$1c$	2α	$2a$	2β	2γ	$2c$
0,185	0,25	0,185	0,18	0,30	0,14	0,16	0,145	0,14	0,20

Bei einer Verstärkung des primären Stromes um das 40fache von 0,025 A. auf 1 A. ergeben sich als Faktoren:

Tabelle XVII.

R. $1a$	$1c$	$2a$	$2c$
0,215	0,265	0,13	0,16

Man kann aus den Tabellen XV und XVI einen deutlichen Unterschied in den Wirkungen der Stahlröhren vor und nach dem Härten ersehen und zwar:

„Bei in constantem Verhältniss wachsendem primären Strome nimmt die procentuale Verminderung: bei den nicht gehärteten Stahlröhren schneller ab und zwar annähernd stetig schneller, bei den gehärteten Röhren erst schneller ab bis zu

einem Maximum, dann langsamer und wieder annähernd stetig, so dass sie schliesslich nicht unter einen bestimmten Werth sinkt."

Letzteres zeigen auch die in Fig. 2 und 3 für die gehärteten Stahlröhren gezeichneten Curven, die schliesslich annähernd parallel zur Abscissenaxe verlaufen.

Um den Einfluss des Härteprocesses auf den Werth der procentualen Verminderung des Feldes noch genauer festzustellen, wurden die Factoren berechnet, mit denen man den Werth der procentualen Verminderung durch das nicht gehärtete Rohr multipliciren muss, um den entsprechenden Werth für das gehärtete Rohr zu erhalten. Diese Factoren enthält

Tabelle XVIII.

J	0,025 A.	0,05 A.	0,1 A.	0,2 A.	0,5 A.
Tiegelstahlr. 3 mm Wandst.	1,32	1,355	1,455	1,51	1,805
„ 1,5 „ „	1,565	1,65	1,73	1,915	2,625
Martinstahlr. 3 „ „	1,18	1,245	1,245	1,26	1,35
„ 1,5 „ „	1,235	1,255	1,32	1,405	1,77

Aus diesen Zahlen kann man folgern:

„Durch Vergrösserung der mechanischen Härte eines Stahles wächst die procentuale Verminderung und zwar in desto höherem Grade, je grösser die Feldstärke ist."

Diese Erscheinung tritt, wie die übrigen, die bisher bei den gehärteten Stahlröhren gefunden wurden, deutlicher hervor bei den dünnwandigen als bei den dickwandigen und andererseits deutlicher bei den Tiegelstahlröhren als bei denen aus Martinstahl und das wohl nur deshalb, weil bei den dünnwandigen Röhren der Härteprocess ein durchgreifenderer war als bei den dickwandigen und Martinstahl eine für das Härten viel ungeeignetere Stahlsorte ist als Tiegelstahl.

Aus Tabelle XIV lässt sich ferner der Einfluss der Wandstärke der Röhren auf die procentuale Verminderung berechnen, es reducirt sich nämlich die letztere durch Herabsetzung der Wandstärke auf die Hälfte von 3 mm auf 1,5 mm durchschnittlich:

	nicht gehärtet	gehärtet
bei den Tiegelstahlröhren auf das	0,575	0,745
„ „ Martinstahlröhren „ „	0,575	0,645fache,

bei einer jedesmaligen Abnahme der Wandstärke um 0,75 mm:

	bei den	
	Tiegelstahlr. (nicht geh.)	Martinstahlr. (nicht geh.)
von 3 mm auf 2,25 mm auf das	0,765	0,80
„ 2,25 „ 1,5 „ „ „	0,755	0,715fache.

Deutlicher ist der Einfluss der Wandstärke zu erkennen aus den Differenzen der Werthe für die procentuale Verminderung bei einer Abnahme der Wandstärke um je 0,75 mm:

	Tiegelstahlrohr (nicht geh.)					Martinstahlrohr (nicht geh.)				
v. 3 mm a. 2,25 mm	4,4	4,15	2,05	1,35	0,75	3,35	2,1	1,3	0,8	0,45
„ 2,25 „ „ 1,5 „	3,8	1,95	1,85	1,2	0,8	3,7	2,25	1,55	0,85	0,55

Aus diesen Werthen darf man wohl schliessen:

„Bei einer in arithmetischer Reihe fortschreitenden Verkleinerung der Wandstärke nimmt die procentuale Verminderung des Feldes auch annähernd in einer arithmetischen Reihe ab.“

Hier sei bemerkt, dass Versuche mit grösseren Wandstärken, bei denen sich eine fast vollständige Vernichtung des Feldes erwarten liess, nur deshalb nicht angestellt wurden, weil nach dem Mannesmann'schen Verfahren Röhren mit mehr als 3 mm Wandstärke nicht angefertigt werden, andererseits stärkere Primärströme, wie schon erwähnt, wegen der Beeinflussung der Röhren nicht angewendet werden konnten.

Aus den Berechnungen über den Einfluss der mechanischen Härte, der Feldstärke und Wandstärke folgt noch:

„Der Einfluss der Stromstärke des im Leiter fliessenden Stromes und der Einfluss der Wandstärke des Stahlrohres auf die procentuale Verminderung sind unter sonst gleichen Bedingungen bei verschiedenen Stahlsorten und verschiedenem mechanischen Härtegrade derselben verschieden;“ oder mit anderen Worten: „Die procentuale Verminderung des Feldes ist ein Maass für die magnetische Härte eines Körpers, jedoch nur ein relatives Maass, das noch eine Function der Querschnittsdimensionen des Körpers und der Intensität des unbeeinflussten Feldes ist. Die magnetische Härte ist eine jedem Körper specifische magnetische Eigenschaft.“

Es wäre interessant gewesen, noch die muthmasslichen Wechselbeziehungen zwischen der magnetischen Härte und einer anderen magnetischen Eigenschaft: der Permeabilität zu untersuchen, allein es gab vorläufig keine einwandfreie Methode zur Messung der Permeabilität von Röhren der hier angewandten Länge in radialer Richtung, die wohl, zumal bei gezogenen Röhren, von der Permeabilität in axialer Richtung erheblich verschieden ist.

In theoretischer Beziehung liefern die Versuche: einmal eine umfassende Bestätigung der Behauptung Stefans in Bezug auf das Verhalten des weichen Eisens sowohl als auch der Annahme Föppls von dem Unterschied der magnetisch weichen und harten Körper, dann aber auch einen guten Beweis gegen die Fernwirkungs- und für die Faraday-Maxwell'sche Theorie: die erstere deutet wohl die Thatsache, dass ein Rohr aus weichem Eisen das Kraftfeld eines coaxialen Leiters nicht beeinflusst, dadurch, dass in dem Eisenrohr keine magnetischen Massen frei werden, sie versagt aber zur Erklärung der Verminderung des Feldes durch ein Stahlrohr; die Faraday-Maxwell'sche Theorie dagegen giebt uns für diese Vorgänge eine klare und einwandfreie Deutung, wie sie ja Föppl entwickelt hat.

Anhang.

In der ganzen Abhandlung habe ich das Wort „Schirmwirkung" vermieden — von den Citaten abgesehen — und das deshalb, weil dieser Ausdruck zur Bezeichnung zweier verschiedener physikalischer Vorgänge benützt worden ist und dadurch die Gefahr einer Verwechslung derselben hervorgerufen hat:

Stefan hat in der oben erwähnten Abhandlung mit dem Titel „Über die magnetische Schirmwirkung des Eisens" eine Theorie, in Anlehnung an die Poisson'sche, und Experimente für diejenigen Erscheinungen veröffentlicht, welche die hohe Permeabilität des weichen Eisens verursacht, und die ihre praktische Anwendung z. B. in der Astasirung des Thomson'schen Marinegalvanometers finden, dagegen bezeichnet Föppl mit „magnetischer Schirmwirkung" die Erscheinungen,

die der Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen waren, nämlich die Verminderung des Feldes durch magnetisch harte Körper wie Stahl.

Diese beiden Vorgänge zeigen nun zwar unter Umständen die gleiche Wirkung, haben aber gänzlich verschiedene Ursachen:

Wenn ein Rohr aus weichem Eisen das Feld eines in seinem Innern befindlichen Magneten nach aussen hin schwächt, so ist das dadurch zu erklären, dass der grösste Theil der von einem Magnetpol zum anderen gehenden Kraftlinien seinen Weg durch die Rohrwand nimmt, weil das weiche Eisen derselben eine bedeutend höhere Permeabilität besitzt als die umgebende Luft.

Vermindert dagegen ein Stahlrohr das Feld eines coaxialen Leiters nach aussen hin, so kann diese Thatsache nicht wie die eben genannte erklärt werden, weil ein das Stahlrohr ersetzendes Rohr aus weichem Eisen, das doch noch eine höhere Permeabilität als Stahl hat, das Feld unbeeinflusst lässt, man muss vielmehr die magnetische Härte, die der Stahl besitzt, das weiche Eisen aber nicht, als die Ursache der Verminderung des Feldes betrachten.

Kurz zusammengefasst sind die Resultate der Untersuchungen folgende:

1. Ein Rohr aus weichem Eisen beeinflusst das Feld eines coaxialen Leiters in keiner Weise.

2. Ein Stahlrohr vermindert das Feld eines coaxialen Leiters.

3. Die procentuale Verminderung des Feldes eines Leiters durch ein coaxiales Stahlrohr ist abhängig, einerseits: von der Stromstärke des im Leiter fliessenden Stromes und von der Wandstärke des Stahlrohres; andererseits: vom Material des Stahlrohres resp. von der mechanischen Härte des Materials.

Aus diesen Resultaten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Weiches Eisen ist ein magnetisch weicher Körper.

2. Stahl ist ein magnetisch harter Körper.

3. Ein Maass für die magnetische Härte eines Körpers bildet die procentuale Verminderung eines Feldes durch denselben, jedoch nur ein relatives Maass, das noch abhängig ist

von der Intensität des Feldes und den Querschnittsdimensionen des Körpers.

4. Die magnetische Härte ist eine spezifische magnetische Eigenschaft jedes Körpers.

Zum Schluss sei es mir noch gestattet, Hrn. Prof. Sohncke für die Anregung und gütige Unterstützung dieser Arbeit bestens zu danken.

München, phys. Inst. d. techn. Hochschule, Jan. 1896.